DARIO GRAFFI

NEL CENTENARIO DELLA MORTE DI JAMES CLERK MAXWELL (*)

Ringrazio la Presidenza dell'Accademia per l'onore fattomi con l'invito a commemorare Maxwell nel centenario della Sua morte, e chiedo scusa se questa commemorazione avviene con tanto ritardo sicchè l'anno centenario è già trascorso (1).

Maxwell è indubbiamente uno dei più grandi fisici di tutti i tempi. Cercherò, dopo qualche cenno biografico, di esporre, per quanto lo consentono le mie forze, i punti salienti della Sua opera scientifica [1].

James Clerk Maxwell nacque a Edimburgo il 13 giugno 1831 (secondo l'Encyclopaedia Britannica il 13 novembre 1831), figlio dell'avvocato John Clerk e di Francis Cay. I Clerk erano di piccola nobiltà scozzese e John Clerk aveva aggiunto, al proprio, il cognome Maxwell per una eredità che una Maxwell aveva portato in dote a un Clerk.

James compì gli studi secondari all'Accademia di Edimburgo e gli studi universitari prima a Edimburgo, poi a Cambridge e li terminò nel 1854. Dopo essere rimasto per qualche tempo al Trinity College di Cambridge, nel 1856 incominciò l'insegnamento superiore, prima come professore di filosofia naturale al Mariscal College della cittadina scozzese di Aberdeen, poi come professore di Fisica e Astronomia, al King's College di Londra.

Nel 1865, per ragioni di salute, lasciò il King's College per ritirarsi in una casa di campagna che possedeva in Scozia.

Nel 1871 ritornò all'insegnamento come Direttore dell'appena costituito Cavendish Laboratory di Cambridge al quale era annessa una cattedra di Fisica sperimentale; la direzione del Laboratory era stata offerta, prima di Maxwell, solo a Lord Kelvin.

A Cambridge Maxwell rimase fino alla Sua morte avvenuta, come già accennato, il 5 (o il 26) novembre 1879, all'età di 48 anni.

(*) Relazione svolta nella seduta del 6 dicembre 1980.

(1) Dal Dizionario Biografico Universale di Gottardo Garollo (vol. I, Milano 1907, p. 545) la data della morte di Maxwell sarebbe il 26 novembre 1879. Prendo questa data da [2]. Se è così, il ritardo sarebbe minore.

* * *

Nella Sua breve vita Maxwell ha pubblicato cinque trattati e circa un centinaio fra note e memorie. Il tempo a disposizione non mi permette una analisi dettagliata di una così poderosa opera. Perciò non parlerò di alcune ricerche giovanili di matematica, delle Sue ricerche sulla teoria dei colori, del Suo ben noto teorema ci reciprocità e altri lavori di meccanica. Accennerò al trattato sulla teoria del calore solo perchè in esso sono esposte le relazioni termodinamiche che portano il Suo nome e perchè quelle relazioni sono ricavate con metodi di matematica elementare, il che riesce, di regola, solo a chi conosce molto bene la matematica e la fisica. Accennerò anche alla Sua teoria sugli anelli di Saturno (per cui ottenne l'Adam's Prize) in cui dimostra che gli anelli non possono essere nè solidi nè fluidi, ma composti di masse slegate solide o fluide.

Mi soffermerò un po' più a lungo sulle Sue ricerche nella teoria cinetica dei gas e nell'elettromagnetismo e teoria elettromagnetica della luce, ricerche a cui è principalmente affidata la Sua fama.

Come è noto, uno degli scopi principali della cinetica dei gas consiste nel ricavare da proprietà molecolari del gas leggi e parametri macroscopici (come legge di Boyle, di Gay e Lussac ecc., viscosità e conduttività termica del gas ecc.) del gas stesso. E come è noto, nella teoria cinetica il gas si suppone composto di molecole ognuna dotata di continuo incessante moto, che cambia solo con l'urto con altre molecole e con le pareti del recipiente che le contiene. Anzi, almeno per i gas monoatomici, nel secolo scorso (e anche in tempi più recenti) le molecole si schematizzavano con sferette perfettamente elastiche.

Ora, qualche risultato su alcuni dei citati scopi della teoria cinetica era stato ottenuto prima di Maxwell, però con l'ipotesi di uguale velocità, in grandezza, di tutte le molecole. Ma è intuitivo che, per effetto degli urti, la predetta ipotesi non può essere verificata. Poichè non è possibile seguire il moto di ogni singola molecola, Maxwell propose un procedimento che poi si chiamò statistico e cioè di determinare una funzione $f(\boldsymbol{v}, t)$ della velocità vettore $\boldsymbol{v}$ e del tempo t che permetta di conoscere, fissato t, il numero di molecole (rinunciando così alla loro individualità) con velocità vettoriale che cade in un intorno di $\boldsymbol{v}$; la $f(\boldsymbol{v}, t)$ si chiama funzione di distribuzione. Ora Maxwell ammette l'esistenza di uno stato stabile, o stazionario o di equilibrio statistico in cui la funzione di distribuzione non dipende da t. Esaminando un gas non dotato di moto d'insieme, non soggetto a forze e nello stato stabile, con considerazioni probabilistiche e con semplici sviluppi matematici, riesce ad ottenere la ben nota espressione di tipo gaussiano della funzione di distribuzione (detta anche legge) che porta il Suo nome.

È ben vero che Maxwell giunge a quella legge con ipotesi non del tutto accettabili (e che, se non vado errato, non sono soddisfatte nelle statistiche quantiche), però più tardi il risultato di Maxwell fu dimostrato in modo com-

pleto da Boltzmann, con una dimostrazione piuttosto complicata. Perciò, a mio avviso, almeno dal punto di vista didattico, non si dovrebbe trascurare la dimostrazione di Maxwell. Dalla formula di Maxwell è poi facile dedurre le già richiamate leggi dei gas e, almeno per il gas monoatomico, il principio dell'equiripartizione dell'energia.

In seguito, la legge di Maxwell è stata estesa anche a gas con molecole dotate di moto di rotazione e di moti interni ed è stato anche esteso il principio dell'equiripartizione dell'energia.

Da questi lavori di Maxwell ha preso dunque origine la cosiddetta meccanica statistica, oggetto di ricerche da parte di scienziati di altissimo valore.

Maxwell ha anche considerato questioni relative a un gas che non si trova nello stato di equilibrio; in questo caso bisogna ricorrere alla ben nota equazione di Boltzmann, molto difficile da trattare matematicamente, infatti è ancora oggetto di importanti studi. Maxwell riuscì a superare alcune difficoltà per risolvere detta equazione ammettendo che le molecole non interagiscono con urti elastici, ma con forze di attrazione o repulsione inversamente proporzionali alla quinta potenza della loro distanza. Potè così ricavare espressioni del coefficiente di viscosità, della conduttività termica e di altre grandezze. Il coefficiente di viscosità fu da Lui ricavato anche per altra via, cioè con la nozione di libero cammino medio; Egli giunse così al sorprendente risultato che quel coefficiente non dipende dalla densità, risultato che verificò sperimentalmente.

* * *

Passiamo ora all'elettromagnetismo. A questo argomento dedicò tre importanti memorie di cui riporto i titoli (rimandando a [1] per le indicazioni bibliografiche) e cioè: 1) Sulle linee di forza di Faraday, 2) Sulle linee di forza fisiche, 3) Una teoria dinamica dell'elettromagnetismo, pubblicate rispettivamente nel 1856, 1861, 1864.

Però le Sue idee fondamentali sono riportate nel celebre « Trattato di elettricità e magnetismo » pubblicato per la prima volta nel 1873 e già citato in [1] e che, come d'usuale, chiamerò il « Treatise ». È un trattato ormai classico non solo per l'elettromagnetismo, ma anche per la storia della Scienza, ed è ancora di utile e piacevole lettura. Il Treatise contiene anzitutto una esposizione sistematica dei risultati ottenuti fino ai tempi dell'Autore sull'elettromagnetismo. Dove è necessario, Maxwell applica anche la matematica più avanzata per i Suoi tempi, ma mai perde di vista il fenomeno fisico e giunge fino a descrivere apparecchi e metodi per la misura delle grandezze elettriche e magnetiche. Nella prefazione afferma che la Sua trattazione è conforme a idee che Lui attribuisce a Faraday, ma comunque da Lui precisate e migliorate. È interessante notare come, nel Treatise, i contributi originali di Maxwell sono esposti in maniera quasi timida e, come già osservava Poincaré, relegati nell'ultima parte del libro.

Come disse, credo per primo, Hertz, la teoria di Maxwell consiste nelle equazioni di Maxwell. Non ritengo però inutile, seguendo il Treatise, esporre quanto, a un secolo di distanza, rimane nei Suoi contributi originali, senza esaminare l'evoluzione delle Sue idee, compito questo degli storici della Scienza, ed io non sono uno storico della Scienza.

Maxwell seguendo, come ho già accennato, Faraday, suppone che nelle azioni fra corpi elettrizzati e magnetizzati, fra correnti elettriche ecc. abbia fondamentale importanza lo spazio o, con parole simili, il mezzo interposto fra quei corpi. Il mezzo può essere non solo materiale, ma anche il vuoto o meglio una regione dello spazio vuota di materia. Questa precisazione è necessaria perchè i contemporanei di Maxwell ammettevano, per spiegare la propagazione della luce e altri fenomeni, il vuoto di materia riempito di un mezzo ipotetico dotato di singolari proprietà elastiche (o meglio meccaniche): l'etere. Ora, nel secolo scorso, si cercava di ricondurre ogni fenomeno fisico a fenomeni meccanici e perciò Maxwell cercò di interpretare, senza però riuscirci del tutto, le azioni fra corpi elettrizzati o magnetizzati come dovuti alle tensioni e compressione che essi provocano nell'etere. Così poteva eliminare la cosiddetta « azione a distanza » a cui si appoggiavano le teorie delle Scuole francesi e tedesche relative all'elettromagnetismo, specie quelle relative al caso stazionario. Però, poichè scopo della Scienza (almeno della Scienza fisico–matematica) è di descrivere, coordinare ed eventualmente prevedere i fenomeni, nulla vieta di adoperare, quando fa comodo, l'ipotesi dell'azione a distanza, come si fa per esempio quando si studia il moto dei corpi celesti. perciò noi possiamo tranquillamente abbandonare l'ipotesi dell'etere elastico, però sono ancora valide alcune idee di Maxwell anche se ispirate dall'etere elastico. Esse sono a mio avviso: *a*) nozione di corrente di spostamento, *b*) esistenza di una energia (energia elettromagnetica) distribuita in ogni regione dello spazio ove è presente un campo elettromagnetico; l'energia contenuta in un elemento della regione dipende dal campo elettrico e dal campo magnetico in quell'elemento, *c*) le formule che rappresentano le attrazioni o repulsioni fra conduttori elettrizzati o fra magneti e che possono interpretarsi come tensioni di mezzo elastico che per Maxwell era l'etere. Per noi queste formule possono essere utili per semplificare certi calcoli e anche, senza pensare all'etere, per comprendente qualche fenomeno. Anzi, anticipando quanto dirò in seguito, in base alle predette formule Maxwell previde la pressione della luce, fenomeno poi confermato dall'esperienza.

Alla corrente di spostamento Maxwell arriva per una via piuttosto tortuosa e non priva di contraddizioni (si veda per esempio [1] e [3]), invece per noi la densità di quella corrente non è altro che la derivata, rispetto al tempo, di un vettore **D**, introdotto da Maxwell e da Lui nominato spostamento. La corrente di spostamento genera, come la corrente di conduzione, un campo elettromagnetico ed esiste ovunque **D** varia col tempo, quindi anche nello spazio vuoto. In questo caso non è possibile una rappresentazione visiva di quella corrente, come per le ordinarie correnti di conduzione, e anche nel

caso di mezzi materiali solo una parte della corrente di spostamento, cioè la corrente di polarizzazione, può avere una rappresentazione visiva.

La corrente di spostamento gode di una proprietà che mette facilmente in evidenza l'importanza della sua introduzione. Si dimostra facilmente che la corrente di spostamento è solenoidale ove non sussistono correnti di conduzione. Nei luoghi in cui le due correnti coesistono è solenoidale la loro somma, detta anche corrente totale di Maxwell, e non, in generale, le singole correnti. In altre parole la corrente totale di Maxwell è sempre una corrente chiusa, mentre può non esserlo la singola corrente di conduzione. Per esempio la corrente di conduzione di carica di un condensatore è corrente aperta, ma si chiude con la corrente di spostamento fra le armature del condensatore. Dunque, poichè per Maxwell ogni corrente è chiusa, era così superato il problema di determinare il campo generato da una corrente aperta (ovviamente di conduzione) problema nel quale si erano cimentati, senza completo successo, illustri studiosi. Infatti con la nozione di corrente totale si può scrivere, senza contraddizione, la prima equazione di Maxwell che, collegata con la seconda (di cui, in sostanza, erano già noti i fondamenti fisici) fornisce le due equazioni fondamentali che reggono tutto l'elettromagnetismo.

Prove sperimentali indirette dell'esistenza della corrente di spostamento sono moltissime perchè dalle equazioni di Maxwell si possono prevedere numerosi fenomeni (come le onde elettromagnetiche di cui diremo in seguito) confermati dall'esperienza. Una verifica diretta dell'esistenza della corrente di spostamento fra le armature di un condensatore è stata ottenuta dal compianto consocio Giancarlo Vallauri [4].

Non credo inutile accennare ad un'altra via per giungere alle equazioni di Maxwell e quindi alla corrente di spostamento. Già Riemann aveva avanzato l'ipotesi per cui le azioni elettromagnetiche si propagano con velocità finita. Questa ipotesi, ripresa da L. Lorenz di Copenhagen (da non confondere con l'olandese H. A. Lorentz, uno dei più grandi continuatori dell'opera di Maxwell), gli permise di ricavare per altra via le equazioni di Maxwell.

Non mi è riuscito reperire le memorie di Lorenz [5], comunque una dimostrazione completa della deduzione delle equazioni di Maxwell con l'ipotesi sopra accennata si trova in una Nota giovanile di T. Levi-Civita [6].

Levi-Civita (che forse non conosceva i lavori di Lorenz) introduce l'ipotesi della velocità finita in alcuni potenziali già considerati da Helmholtz trasformandoli in potenziali ritardati e ottenendo così quei potenziali che ora chiamiamo potenziale scalare e potenziale vettore e dimostra come il campo elettromagnetico che si ricava da quei potenziali soddisfa alle equazioni di Maxwell.

A parte le questioni di priorità (Maxwell stesso, loco citato in [5] del Treatise, prova che le Sue ricerche sono anteriori a quelle di Lorenz) ritengo sia preferibile, certamente dal punto di vista didattico, ma anche dal punto di vista scientifico, introdurre a priori le correnti di spostamento, giustificandole con la solenoidalità della corrente totale, e poi eventualmente ricavare il potenziale scalare e il potenziale vettore.

Riprendiamo ora l'ipotesi di Maxwell già indicata con *b*) cioè dell'energia distribuita in una regione dello spazio per la presenza di un campo elettromagnetico.

Ora, nel 1884 J. H. Poynting, con semplici considerazioni matematiche, dedusse dalle equazioni di Maxwell una ben nota relazione che ammette una pure ben nota interpretazione energetica, interpretazione valida solo in base all'ipotesi di Maxwell accennata or ora. Anzi, dalla relazione di Poynting segue che dalla regione considerata (specie se contiene una sorgente di campo elettromagnetico come una antenna radiotrasmittente) può, in un certo invallo di tempo, uscire dell'energia e, per esempio, giungere in un'altra regione dello spazio dove può venir raccolta da un'antenna radioricevente; si spiega così la possibilità delle radiotrasmissioni.

Vorrei però notare che, se si escludono le correnti di spostamento, e se il campo (come avviene spesso in pratica) è periodico, non si avrebbe globalmente emissione di energia, dalla regione in cui si trova l'antenna, perchè l'energia che esce in un semiperiodo sarebbe compensata da quella che entra in un semiperiodo successivo; non si avrebbero così radiotrasmissioni. È questa un'altra conferma della geniale intuizione di Maxwell.

* * *

Considerando un campo elettromagnetico in un dielettrico senza conduttività e senza cariche elettriche, dalle equazioni di Maxwell si ricava che le componenti del campo elettrico e del campo magnetico (o se si vuole le componenti del potenziale vettore e il potenziale scalare) soddisfano alla ben nota equazione delle onde (in particolare sonore) o di D'Alembert. Da questa equazione si deduce, come ben noto, che esistono onde, che diremo elettromagnetiche, che si propagano con velocità finita v e uguale a $1/\sqrt{\varepsilon\mu}$ (ε e μ rispettivamente la costante dielettrica e la permeabilità del dielettrico).

Se il dielettrico è il vuoto, e ε_0 e μ_0 sono i valori di ε e μ in questo mezzo, e adoperando, come faceva Maxwell, le unità del sistema elettromagnetico, si ha $\mu_0 = 1$, $\varepsilon_0 = 1/c^2$, dove c è il rapporto fra l'unità elettromagnetica e l'unità elettrostatica di quantità di elettricità. Ora c era stata determinata nel 1856 da Weber e Kolrausch col risultato (confermato poi anche da Maxwell) che la c stessa coincideva, entro i limiti dell'errore sperimentale, con la velocità della luce nel vuoto determinata, in quei tempi, da Fizeau e Foucault.

Con ciò si confermava l'idea di Maxwell per cui l'etere del campo elettromagnetico era lo stesso etere invocato da Huyghens, Young, Fresnel, Green e altri per interpretare la propagazione della luce.

Ma Maxwell andò più in là, identificando le onde luminose con onde elettromagnetiche periodiche. In tal modo, forse senza volerlo, Maxwell dava il benservito all'etere, che del resto era necessario (non ricordo a chi si attribuisce questo detto) solo per dare un soggetto al verbo ondulare. Infatti le idee di Maxwell conducono in definitiva ad ammettere che la luce consiste in un campo elettrico e in un campo magnetico periodici e dalle equazioni di

Maxwell si deduce, fra l'altro, che essi sono, di regola, normali alla direzione di propagazione, cioè le onde luminose sono trasversali, conforme ai fenomeni di polarizzazione della luce che mal si spiegavano con la teoria dell'etere.

In questa grandiosa sintesi fra elettromagnetismo e ottica consiste quella teoria elettromagnetica della luce che dobbiamo a Maxwell.

È bene notare che onde elettromagnetiche si possono generare, come dimostrò per primo Hertz, anche con apparecchi elettrici. Riserveremo a queste onde il nome di hertziane (o anche onde radio), mentre diremo onde luminose quelle della luce; tutti sanno che le onde hertziane testè definite differiscono dalle luminose solo per la frequenza più bassa nelle hertziane. Allora viene spontaneo chiedersi se le onde hertziane verificano gli stessi fenomeni (riflessione, rifrazione, interferenza ecc.) delle onde luminose. Ma di questi argomenti dirò più innanzi. Intanto indicherò altre conseguenze della teoria elettromagnetica della luce, dedotte dallo stesso Maxwell.

Se un'onda hertziana o luminosa si propaga in un dielettrico diverso dal vuoto, allora l'indice di rifrazione n vale:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{\varepsilon_0\,\mu_0}}$$

e poichè in molti dielettrici μ è sensibilmente uguale a μ_0, si ha la ben nota relazione di Maxwell per cui l'indice di rifrazione vale la radice quadrata della costante dielettrica relativa al vuoto.

Maxwell ha anche studiato la propagazione in un mezzo dotato di conduttività γ; l'onda risulta assorbita e il coefficiente di assorbimento p può venire espresso mediante ε e γ. Però, come osserva onestamente lo stesso Maxwell, questi Suoi risultati non sono confermati, quantitativamente, dall'esperienza.

Bisogna però notare che ε e γ sono, di regola, misurati mediante campi statici, mentre per i cosiddetti fenomeni dispersivi n e p sono variabili con la frequenza e sono misurati alle frequenze della luce; quindi per l'accordo fra le misure anche ε e γ dovrebbero variare con la frequenza. Si dovrebbe perciò modificare le equazioni di Maxwell. In realtà tale modifica non è necessaria; a rigore le equazioni di Maxwell stabiliscono due relazioni fra cinque vettori $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$, $\mathbf{D}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{J}$ (rispettivamente campo elettrico, campo magnetico, vettore spostamento, vettore induzione, densità di corrente), però ad esse bisogna aggiungere (per pareggiare il numero delle equazioni al numero delle incognite) altre relazioni che, con linguaggio moderno, si chiamano costitutive.

Maxwell ammetteva nei corpi isotropi, come relazioni costitutive, la proporzionalità fra $\mathbf{D}$ e $\mathbf{J}$ con $\mathbf{E}$ (rispettivamente con coefficienti ε e γ) e $\mathbf{B}$ proporzionale ad $\mathbf{H}$ con coefficiente μ (ε, μ, γ dipendono dal mezzo nel punto in cui si considerano i predetti vettori).

Ora, per interpretare i fenomeni dispersivi si può (cfr. [7]) aggiungere p.e. alla relazione fra $\mathbf{D}$ ed $\mathbf{E}$ un termine di carattere ereditario (o di memoria)

del tipo di Volterra e la cosiddetta funzione di memoria si può ricavare in base alle teorie elettroniche.

Del resto lo stesso Maxwell studia, mediante la teoria elettromagnetica, la propagazione della luce nei mezzi cristallini modificando solo la relazione fra **D** ed **E**, cioè sostituendo al numero ε un tensore doppio simmetrico.

* * *

Ci possiamo domandare se la sintesi di Maxwell dell'elettromagnetismo e dell'ottica è completa e ancora valida. Debbo dire anzitutto che la teoria non è completa perchè Maxwell non si è preoccupato delle sorgenti del campo elettromagnetico e in particolare delle sorgenti della luce, e solo marginalmente dell'elettrodinamica dei corpi in moto. Questi problemi, da Lui lasciati aperti, hanno però dato origine alle grandi teorie dei quanta e della relatività.

Ritengo però ancora valida la teoria di Maxwell per la propagazione delle onde hertziane e luminose, s'intende con gli opportuni ritocchi alle equazioni costitutive, e per la teoria delle sorgenti e dei ricevitori delle onde radio o, meglio, delle antenne radio.

Comunque ogni teoria scientifica viene, senza togliere il merito a chi la ideò, presto o tardi superata da nuove scoperte e inquadrata in teorie più ampie.

* * *

Desidero brevemente accennare ai rapporti fra Maxwell e l'Italia.

Nel Treatise sono citati, più o meno ampiamente, oltre ovviamente ai Galileo, Volta, Lagrange, gli italiani Plana, Marianini, Mossotti, Matteucci, Felici e Betti, gli ultimi quattro professori all'Università di Pisa. Anzi nel 1867 Maxwell compì un viaggio in Italia e volle imparare l'italiano per poter conversare con Matteucci. Perciò, un secolo fa, almeno a Pisa, la fisica italiana doveva essere, se non all'altezza di alcune Scuole inglesi, francesi e tedesche, certamente a un buon livello.

Ma per me, bolognese di adozione se non di nascita, vi è un altro legame, sia pure indiretto, fra Maxwell e l'Italia.

Come ho detto, Hertz riuscì per primo a generare con mezzi elettrici le onde elettromagnetiche e a dimostrare che esse verificano alcune proprietà delle onde luminose. Ma tali verifiche erano difficili perchè la lunghezza d'onda era troppo grande. Le ricerche di Hertz furono riprese, come tutti sanno, da Augusto Righi, professore all'Università di Bologna, che, ideando una nuova sorgente di onde hertziane (l'oscillatore di Righi) di lunghezza d'onda di pochi centimetri, riuscì non solo a confermare i risultati di Hertz sulla riflessione, rifrazione, interferenza delle onde hertziane, ma anche lo loro diffrazione, doppia rifrazione e assorbimento, in definitiva tutti i fenomeni caratteristici della luce. Ebbene, mentre Righi compiva queste ricerche, era in relazione con un giovane che non aveva terminato studi regolari e che frequentava

(qui però le testimonianze non sono concordi) il suo laboratorio. È inutile che vi dica che quel giovane si chiamava Guglielmo Marconi, che forse dalle esperienze di Righi ebbe la prima idea della radio; infatti nella sua prima stazione radiotrasmittente compare l'oscillatore di Righi.

Vi è dunque una catena: Maxwell, Hertz, Righi, Marconi; da una grande concezione scientifica si giunge ad una invenzione con un'importanza sulla vita sociale dell'umanità paragonabile a quella della stampa (come disse nel 1974 il Prof. Cerulli, allora Presidente della nostra Accademia [8]).

* * *

Permettetemi, prima di terminare, un ricordo personale.

Oltre cinquant'anni fa, dopo la rappresentazione di un Suo dramma a cui avevo assistito, Pirandello si affacciò alla ribalta per una (come Egli le chiamava) conversazione col pubblico. Ricordo ancora che a un certo momento Egli affermò in sostanza (ovviamente non ricordo le parole precise) « lo scienziato deve avere anzitutto fantasia » e citò il seguente esempio: « molti hanno visto cadere una mela in una notte di plenilunio, ma solo Newton, meditando su quella osservazione, giunse alla gravitazione universale ».

Non vi è dubbio che il vero scienziato deve avere anche una buona preparazione culturale, sicuro raziocinio, tenacia nella ricerca senza scoraggiarsi per eventuali insuccessi, ed altre qualità che non sto ad enumerare, ma solo con la fantasia può raggiungere quelle scoperte che imprimono alla Scienza una svolta decisiva.

Maxwell fu un vero, grande, scienziato.

BIBLIOGRAFIA

[1] Per questa relazione mi è stata assai utile la recente edizione (1973) in italiano, curata dal Prof. Evandro Agazzi, del *Treatise on Electricity and Magnetism*, e inserita nella collezione «Classici della Scienza» dell'U.T.E.T. (Unione tipografica editrice torinese). All'ottima traduzione del Treatise, l'Agazzi ha premesso un'ampia e profonda introduzione critica ed opportuni commenti ad ogni capitolo. Il libro citato è prezioso anche per una completa bibliografia delle pubblicazioni di Maxwell e per dati biografici su Maxwell e altri scienziati che Egli cita nel Suo trattato.

[2] A. MASOTTI – *In memoria di James Clerk Maxwell nel centenario della morte*, « Rendiconti Istituto Lombardo », Vol. 113–1979. Parte generale e Atti ufficiali.
Ringrazio il collega Masotti per avermi inviato il testo della sua nota prima della pubblicazione.

[3] JOAN BROMBERG – *Maxwell displacement current and his theory of light*, « Archive of History of exact Sciences », IV (1967–'68), 218–234.

[4] G. VALLAURI – *Induzione elettromagnetica e induzione magnetoelettrica*, « Alta Frequenza », XX (1951), 227–246.

[5] Ho avuto notizia della memoria di Lorenz oltre da un cenno nel Treatise (Cap. XX, § 805) dal Traité d'electricité theorique di Marc Jouguet–Gautier Villars Paris (1960), Tomo III, Cap. II, § 2, 6 e 2, 18.

[6] T. LEVI-CIVITA – *Sulla riducibilità delle equazioni elettrodinamiche di Helmholtz alla forma hertziana*, Nuovo Cimento, serie IV, Vol. VI (1897), 93–108. – Opere Matematiche pubblicate a cura dell'Accademia dei Lincei–Zanichelli Bologna (1954), Vol. I, 291–303.

[7] Cfr. LANDAU e LIPSCHITZ – *Electrodynamics of continuous media*, Pergamon Press, Oxford 1960, § 58.
Del resto l'ipotesi che i fenomeni dispersivi possano rappresentarsi come relazione ereditaria di Volterra fu già avanzata da U. CISOTTI: *L'ereditarietà lineare e i fenomeni dispersivi*, « Rendiconti Istituto Lombardo » (XLIV–1911).

[8] E. CERULLI – *Introduzione al Convegno internazionale su Radiocomunicazioni a grande e a grandissima distanza*, Celebrazione Nazionale del centenario della nascita di Guglielmo Marconi « Atti del Convegno Lincei, n. 24 – Roma, Accademia Nazionale dei Lincei » (1976), 9–12.